

Reseña histórica y análisis para obtención de la estimación cuantitativa de la amenaza por movimientos del terreno asociado con sismos.

Méndez B, Leonardo.¹

1. Servicio Geológico Colombiano.

Los sismos se han identificado como uno de los fenómenos naturales más peligrosos, los cuales han ocasionado grandes pérdidas económicas y sociales, donde no sólo los eventos considerados como fuertes producen daños severos, sino también los moderados y algunas veces los sismos de reducido tamaño han causado daños considerables debido a las condiciones locales tales como topografía y características geológicas de cada sitio.

Los deslizamientos ocasionados por sismos han sido los causantes de decenas de miles de muertos y billones de dólares en pérdidas económicas alrededor del mundo. Por ejemplo el sismo del 31 de mayo de 1970 en Chimbote (Perú) ocasiono más de 54.000 muertes (Rodríguez et ál., 1999) y un deslizamiento ocasionado por este sismo en el Nevado de Huascarán sepulto la ciudad de Yungay, o los sismos del 13 de enero y 13 de Febrero del 2001 en El Salvador, los cuales ocasionaron más de 1000 víctimas por deslizamientos (Bommer et ál., 2002) en Santa Tecla y alrededores.

Con el fin de reducir el número de víctimas y las pérdidas económicas, existen diferentes metodologías para evaluar la amenaza o riesgo que ocasionan este tipo de deslizamientos y con base en esto, poder tomar las medidas preventivas que sean necesarias.

El primero en realizar una base de datos de deslizamientos inducidos por sismo con fines de establecer herramientas para la evaluación de amenazas fue Keefer (1984, 1994), quien identificó alrededor de 36

sismos, donde el más reciente fue en el año 1980. A partir de la información recopilada, Keefer (1984, 1994), intentó establecer relaciones entre la extensión del área afectada por los deslizamientos con la magnitud del sismo y entre la magnitud mínima del sismo con el número de eventos producidos por el mismo. De esta última correlación Keefer (1994) concluye que un sismo con una magnitud menor a 6.0 puede ocasionar cientos de inestabilidades y un sismo que presente una magnitud mayor a 7.0 puede ocasionar miles de deslizamientos.

Posterior a Keefer (1994), Rodríguez et ál., (1999), complemento información a los datos presentados por Keefer (1994), Rodríguez et ál., (1999), concluyen que contrario a lo establecido por Keefer (1994), el número de deslizamientos por cada evento sísmico no parece depender de la magnitud del evento, el sismo con menor magnitud que identificaron Rodríguez et ál., (1999), que haya ocasionado al menos un deslizamiento fue el ocurrido en Qinghai, China, el 7 de Marzo de 1984, con una magnitud de 2.9.

Se presenta un resumen histórico de deslizamientos inducidos por terremotos en Colombia compilados por García (1994, (tabla 1).

Rodríguez et ál., (1998) concluye que el mecanismo de deslizamiento más común detonado por sismo en Colombia corresponde a Caída de Rocas y Flujo de Detritos y los de menor frecuencia corresponden a hundimientos en roca.

Fecha	Zona	M_L	Descripción
1530-09-01	Cumaná, N.E Colombia	-	Deslizamientos, agrietamientos en el suelo, hundimientos, licuefacción y expulsiones de agua.
1610-02-03	Límite con Venezuela	-	Grandes deslizamientos en el valle de Bailadores, represamiento del río.
1743-10-18	Fómeque	-	Varios deslizamientos represaron ríos y bloquearon las carreteras..
1785-07-14	Región central	-	Deslizamientos represaron el río principal y Magdalena. Deslizamientos alrededor de Santa Fé.
1790-	Barcelona (Quindío), San Pedro Alcántara	-	Un gran deslizamiento genera un lago natural de unos 600 m de perímetro.
1805-06-16	Región central	-	Deslizamientos de tierra en Bogotá represaron la Quebrada Aguavieja, la cual hace parte del sistema de abastecimiento de agua.
1827-11-16	Regiones del centro y sur	-	Un deslizamiento de tierra represó el río Cauca cerca de Popayán. El represamiento causó graves daños. En Neiva muchos deslizamientos fueron generados. La Quebrada La Honda fue represada muchos días después se rompió la represa causando la muerte de 161 personas. Grandes deslizamientos en ambos lados del río Suaza en Timaná, formando un lago que falló un mes después produciendo muertes adicionales e inundaciones a lo largo del río Magdalena. Muchos deslizamientos en la zona también fueron reportados.
1834-01-20	Nariño	-	Sibundoy fue totalmente destruido por un gran deslizamiento.
1875-05-18	Cúcuta	-	Cúcuta y Villa del Rosario quedaron destruidas. Muchos deslizamientos alrededor de la región.
1906-01-31	Tumaco	8.9	Licuefacción y deslizamientos reportados.
1936-01-09	Nariño	-	Un deslizamiento de 600 x 500 represó el río Sapuyes y destruyó el pueblo de La Chorrera causando la muerte de 300 personas.
1936-08-14	Nariño	-	Grandes deslizamientos represaron el río Juanambú formando una represa, de al menos 40m de altura, la cual se rompió causando la muerte de 18 personas.
1947-07-14	Nariño	-	Muchos deslizamientos, algunos bastante grandes.
1950-07-18	Arboledas Norte de. Santander	-	Cucutilla fue bloqueada por muchos deslizamientos. Muchos deslizamientos dentro del área epicentral.

Fecha	Zona	M_L	Descripción
1962-07-30	Caldas	6.0-6.8	Muchos deslizamientos dentro del área epicentral.
1967-02-09	Huila	-	Agrietamientos en el suelo y deslizamientos difundidos alrededor del área epicentral. Vías bloqueadas y algunos ríos represados entre ellos los ríos La Ceiba y El Motilón. Expulsiones de agua fueron observadas.
1970-09-26	Bahía Solano	6.5	Muchos deslizamientos en Bahía Solano, Puerto Mutis, El Valle y Mecana. En Bahía Solano se produjo un deslizamiento de 300m el cual causó graves daños en el cementerio, y bloqueo la vía al aeropuerto. Golpes de arenas se observaron.
1979-11-23	Límite con Panamá.	6.5	Muchos deslizamientos a lo largo de las vías de Cali-Buenaventura y Honda – Manizales. Intensas lluvias se consideran que influenciaron al proceso de deslizamientos.
1979-12-12	Tumaco	8.0	Muchos colapsos de terraplenes.
1983-03-31	Popayán, Cauca	5.5	Muchos deslizamientos en el área del Alto de Cauca afectaron la estación de energía de Florida I.

Tabla 1. Deslizamientos inducidos por terremotos en Colombia (García, 1994)

Metodología

La metodología de análisis probabilístico, utilizada en los productos de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala local, generados por parte del Servicio Geológico Colombiano, es la planteada por Cornell (1968), documentada en la literatura (e.g., Reiter, 1990; Sarria, 1990; Kramer, 1996), que tiene por objeto el análisis y obtención de la estimación

cuantitativa de la amenaza por movimientos del terreno asociado con sismos (a nivel de roca). El análisis en términos probabilísticos implica, la construcción de un modelo que determine la probabilidad que ocurra un sismo con una magnitud específica con un periodo de retorno.

El análisis probabilístico se expresa como la probabilidad de excedencia de ciertos movimientos del suelo

calculados para sismos de todos los tamaños y todas las localizaciones dentro de rangos definidos.

La obtención de la probabilidad de excedencia de una determinada magnitud (M), se ha desarrollado en el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, EGASC (AIS, INGEOMINAS, Uniandes, 1996) con la siguiente metodología:

- Identificación de las fuentes Sismogenicas que puede generar efectos sísmicos en la zona de estudio.
- Definición de alineamientos de las fuentes con base en el Estudio de amenaza sísmica de Colombia (AIS 2009).
- Determinación del punto más cercano de la fuente a la zona de estudio y, con esta distancia definir la distancia hipocentral (r).

- Determinar la magnitud (M) del sismo que puede generar movimientos en masa a la distancia (r).
- Determinar la tasa media anual de excedencia.
- Definición de la ecuación de recurrencia para las fuentes Sismogénicas, el número de sismos Nc con magnitud igual o superior a M, por unidad de longitud, por unidad de tiempo, que se han registrado

en esta fuente.

- Cálculo del período de retorno (Tr) de la magnitud M.
- Calcular la probabilidad de excedencia (p) de la magnitud M, como la ecuación de modelo de la probabilidad tipo Poisson.
- Determinar la probabilidad de excedencia (p) de la magnitud M con este período de retorno

La siguiente figura muestra el proceso de la metodología utilizada para obtención de la estimación cuantitativa de la amenaza por movimientos del terreno inducidos por sismos desarrollados en diferentes proyectos de zonificación de amenaza por movimientos en masa.

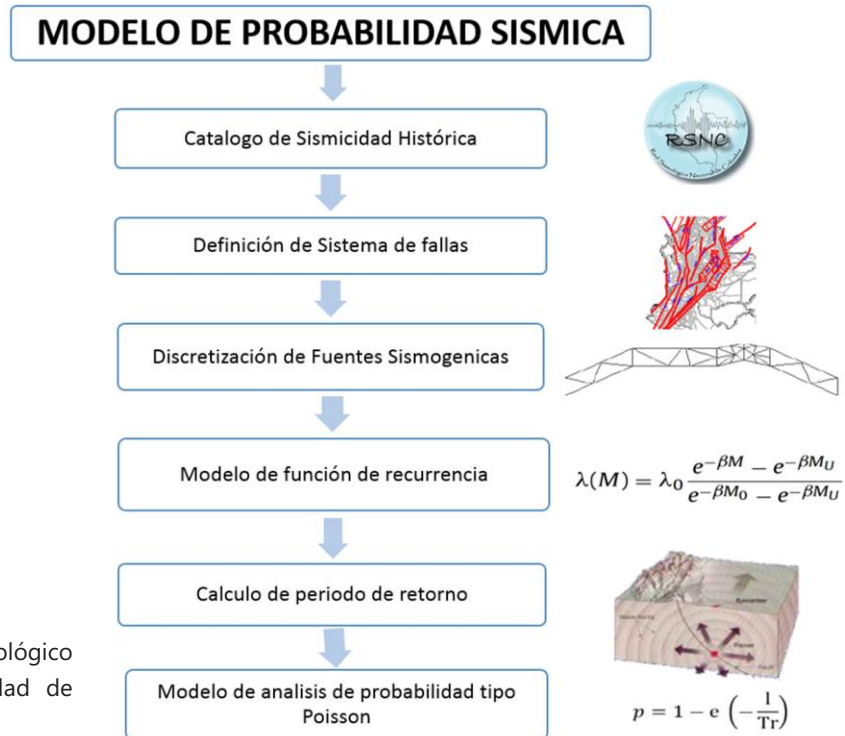


Figura 1. Esquema metodológico para cálculo de probabilidad de excedencia sísmica

Resultados

La ocurrencia de sismos en el tiempo se modela como un proceso de Poisson. En este modelo los eventos suceden aleatoriamente, sin “memoria” en el tiempo, tamaño o localización de cualquier evento predecesor.

Recientemente el SGC entregó al municipio de Villarrica – Tolima, el estudio de zonificación de amenaza por movimientos en masa en parte de la zona rural a escala 1:10.000, en el cual consigna el capítulo de detonante sismo, como insumo para obtener la amenaza por movimientos en masa.

Este capítulo desarrolla la metodología anteriormente dicha, definiendo la fuente sísmica en una representación espacio-temporal de un fenómeno físico, que obedece a la falla de Algeciras. En cuanto a la recurrencia sísmica, esta cumple una distribución probable de magnitudes para la fuente sísmica de

Algeciras igual a: $\lambda m = 1.08978$, El periodo de retorno (Tr), de la magnitud M esta dado como: $Tr=1/Nc$; $Tr=288$ años, finalmente se

obtuvo la probabilidad de que haya por lo menos un sismo con un periodo de retorno Tr , en un intervalo de tiempo L (vida útil de diseño)

calculado como:

$$P = 1 - e\left(-\frac{L}{Tr}\right) = 0.003466.$$

Conclusiones

De acuerdo a la reseña histórica, los deslizamientos inducidos por sismo son detonados generalmente por eventos con magnitudes por encima de 5.0, sin embargo la mínima magnitud identificada que haya detonado un deslizamiento corresponde a 2.90 la cual corresponde al sismo de China en 1984.

A lo largo de los diversos estudios en

los que se basa la presente metodología, se ha puesto especial énfasis en hacer explícitos los elementos (datos, contextos, métodos, juicios) que han contribuido a los resultados y en las incertidumbres y limitaciones que conllevan. Esta es, tal vez, la contribución más importante desde el punto de vista metodológico.

En la aproximación de la metodología probabilista, los elementos básicos requeridos para

caracterizar las fuentes sísmicas son la localización y la geometría de las fuentes sísmicas.

Cabe resaltar la importancia de la información del catálogo sísmológico (instrumental e histórico), ya que este, reconoce la evaluación del parámetro de distribución de magnitudes (parámetro b) y de la tasa de actividad se sustenta en la información.

Referencias bibliográficas

Bommer, J. J., y Rodríguez C. E., (2002), Earthquake-induced landslides in Central América, *Engineering Geology*, (63), pp. 189-220.

Cornell, C. A., (1968), Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, (58), pp. 1583-1606.

García, M., (1994), Deslizamientos inducidos por sismo, *Proceedings of the Sixth National Conference on Geotechnics*, San José Costa Rica.

Keefer, D. K., (2002), Keefer, Investigating landslides caused by earthquakes—a historical review. *Surv.*

Geophys. (23), pp. 473–510.

Rodríguez, C. E., (1996), *Earthquake-induced landslides. 1980-1995 case histories*, MSc. Dissertation, Imperial College University of London.

Rodríguez, C. E., Bommer J. J. y Chandler, R. J., (1999), Earthquake-induced landslides: 1980-1997, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 18(5), pp.325-346.

Servicio Geológico Colombiano, Universidad Nacional de Colombia (2015). *Guía Metodológica Para estudios de Amenaza Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa*.